

7 Bewertung der Praxiseinsätze mit der künftigen EU - Richtlinie 2002/44/EG über die Grenzwerte mechanischer Schwingungen am Arbeitsplatz

„Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Vibrationen)" - Richtlinie 2002/44/EG.

Im Frühjahr 2002 wurde diese EU-Richtlinie über die Grenzwerte mechanischer Vibrationen für Bedienstete in der Land- und Forstwirtschaft beschlossen. Diese EU-Richtlinie regelt die maximal täglich zumutbare Schwingungsexposition für den Fahrer.

7.1 Bewertung der Schwingungsexposition

Die Bewertung des Ausmaßes der Exposition gegenüber Ganzkörper-Vibrationen erfolgt anhand der Berechnung der Tagesexposition $A(8)$. Diese wird als die äquivalente Dauerbeschleunigung für einen Zeitraum von 8 Stunden ausgedrückt. Zur Berechnung werden die höchsten Wert der Effektivwerte der frequenzbewerteten Beschleunigung in den drei orthogonalen Richtungen (x, y, z), für einen sitzenden oder stehenden Arbeitnehmer herangezogen. Als Grenzwerte sind der „Aktionswert" und der „Expositionswert" definiert. Der „Aktionswert" besagt, dass ab einer Beschleunigung von $0,5 \text{ m/s}^2$ eine Maßnahme zur Verbesserung des Beschleunigungsaufkommens durchgeführt werden muss. Der „Expositionswert" legt den höchst zulässigen Effektivwert der Beschleunigung fest. Sind die Messwerte höher als der „Expositionswert", muss die Arbeit eingestellt werden. Beispielsweise könnte ein Fahrer aufgrund dieser neuen Richtlinie nach einer Stunde Fahrt mit einem ungefederten Fahrzeug bereits die maximale Schwingungsdosis für den Tag erreichen und müsste deshalb die Arbeit einstellen.

Diese Richtlinie wurde bereits von der EU beschlossen und soll ab 2005 für alle neuen Arbeitsgeräte, ab 2010 für bestehende Geräte und ab 2014 mit Berücksichtigung aller Übergangsfristen für die Land- und Forstwirtschaft inkrafttreten. Eine wissenschaftliche Grundlage für begrenzte Lenkzeiten bei landwirtschaftlichen Maschinen gab es bisher nicht. Angesichts der unterschiedlichsten Einsatzbereiche des Traktors mit seinen verschiedenen Federungssystemen, ist eine pauschale Regelung sicherlich sehr schwierig.

7.2 Vergleich des Schwingungsaufkommens der BLT-Praxiseinsätze mit den Grenzwerten der EU-Richtlinie

Mit Hilfe von Tabellen und Diagrammen wurden die Praxisversuche in Hinblick auf die Grenzwerte der neuen EU-Richtlinie bewertet. (Bei Interesse senden wir Ihnen diese gerne zu: 01/505 18 91, office@oekl.at)

7.2.1 BEWERTUNG DER PRAXISEINSÄTZE IN HINBLICK AUF DIE NEUE EU-RICHTLINIE (89/391 EWG)

Feldarbeit (Saatbeetbereitung, Mähen, Pflügen, Grubbern)

Beschleunigung vertikal (z)

Verwendet man bei der Saatbeetbereitung und beim Grubbern die Vorderachsfederung, so besteht in Hinblick auf die EU-Richtlinie kein Handlungsbedarf. Ungefedert oder nur mit Kabinenfederung liegen die Werte über dem Aktionswert.

Beim Mäheinsatz ist zwar eine Verbesserung durch die Federungssystem gegenüber dem ungefederten Fahrzeug festzustellen, die Wirkung ist jedoch sehr gering. Die vertikale Beschleunigung (z) beim Pflügen liegt bei allen Federungszuständen unter dem Aktionswert.

Beschleunigung horizontal in Fahrtrichtung (x)

Alle Werte der horizontalen Beschleunigungen in Fahrtrichtung sind unterhalb des Aktionswertes (Ausnahme Mähen, Saatbeetbereitung und Pflügen). Auffällig ist, dass sich die Kabinenfederung beim Federungszustand (AUS/EIN) und (EIN/EIN) negativ auf die horizontale Beschleunigung in Fahrtrichtung auswirkt. Die Ursache liegt im gleichen Resonanzverhalten der Horizontalfederung des Sitzes und der Kabinenfederung bei bestimmten Fahrgeschwindigkeiten.

Beschleunigungsrichtung horizontal quer zur Fahrtrichtung (y)

Die Beschleunigungen am Fahrersitz horizontal quer zur Fahrtrichtung sind im Praxiseinsatz wesentlich kritischer zu betrachten. Die Kabinenfederung in der getesteten Version wirkt sich negativ auf die Sitzbeschleunigung quer zur Fahrtrichtung aus. Die Ursache liegt darin, dass eine geringe seitlich ungedämpfte Bewegungsfreiheit der Kabine die Querschleunigungen am Sitz verstärken.

Anhängertransport (Tandemkipper, Ladewagen, 2-Achs LKW - Anhänger, Güllefass)

Beschleunigungsrichtung vertikal (z)

Bei den Fahrten mit dem Tandemkipper (Leichtbau) am Feldweg (voll, leer), liegen alle Messwerte zwischen Aktionswert und Expositionswert. Die vertikalen Beschleunigungen auf der Asphaltstraße sind kein Problem.

Beschleunigung horizontal in Fahrtrichtung (x)

Alle Werte liegen zwischen dem Aktionswert und dem Expositionswert. Die Vorderachsfederung bewirkt bei der Straßenfahrt horizontal in Fahrtrichtung die größte Beschleunigungsreduktion. Die Kabinenfederung ist in horizontaler Richtung wirkungslos.

Beschleunigung horizontal quer zur Fahrtrichtung (y)

Bei allen Messfahrten lagen die Beschleunigungswerte beim Expositionswert. Das bedeutet, dass nach den Grenzwerten der EU-Richtlinie unbedingt schwingungsreduzierende Maßnahmen gesetzt werden müssen, ansonsten muss die Arbeitszeit verkürzt werden. Die horizontalen Beschleunigungen quer zur Fahrtrichtung werden durch die derzeitigen Federungssysteme des Traktors nicht verringert.

In Hinblick auf die sehr strengen Grenzwerte der künftigen EU-Richtlinie wird wirksamen Traktorfederungssystemen in Zukunft große Bedeutung zukommen. Ohne konsequente Weiterentwicklung der Federungssysteme werden bis zum Inkrafttreten der EU-Richtlinie die Grenzwerte nicht unterschritten.

7.2.2 ZULÄSSIGE ARBEITSZEIT DER PRAXISVERSUCHE BEWERTET NACH ISO 2631-1:1997 BZW. VDI 2057:1999

Bereits im Vorfeld dieser EU-Richtlinie können die Ergebnisse der BLT-Praxisversuche mit den Vorgaben der EU-Richtlinie verglichen werden.

Wissenschaftliche Untersuchungen haben gezeigt, dass mit zunehmender Dosis der Schwingungsbelastung das gesundheitliche Risiko ansteigt. Für eine gefährdende Tagesdosis in Form der Beurteilungsbeschleunigung a_w (8), besteht in Anlehnung an die ISO 2631-1:1997 die Beziehung zwischen der frequenzbewerteten Beschleunigung a_w und der täglichen Einwirkdauer T_e . Bei Werten, die mit $0,45 \text{ m/s}^2$ oberhalb der Richtwertkurve liegen, kann von einer möglichen Gefährdung, bei Belastungen die oberhalb von $0,8 \text{ m/s}^2$ liegen von einer deutlichen Gefährdung des Menschen aus-

gegangen werden, sofern sich die Einwirkungen dieser Tagesdosis über Jahre hinweg regelmäßig wiederholen. Mit zunehmender Überschreitung der Richtwertkurve nimmt das Risiko einer Schädigung zu.

Bei der Beurteilung der Schwingungsbelastung müssen die Effektivwerte aller drei Richtungen a_{wx} , a_{wy} und a_{wz} der frequenzbewerteten Beschleunigung, in den drei Koordinatenachsen der Sitzfläche bestimmt und mit den Korrekturfaktoren k multipliziert werden.

Korrekturfaktoren für die drei Bewegungsrichtungen:

x-Richtung: $k = 1,4$ ($a_w = 1,4 a_{wx}$)

y-Richtung: $k = 1,4$ ($a_w = 1,4 a_{wy}$)

z-Richtung: $k = 1$ ($a_w = a_{wz}$)

Zur Beurteilung der gesundheitlichen Gefährdung sollte der höchste so bestimmte Wert a_w in einer der drei Schwingungsrichtungen herangezogen werden (Abb. 7.1).

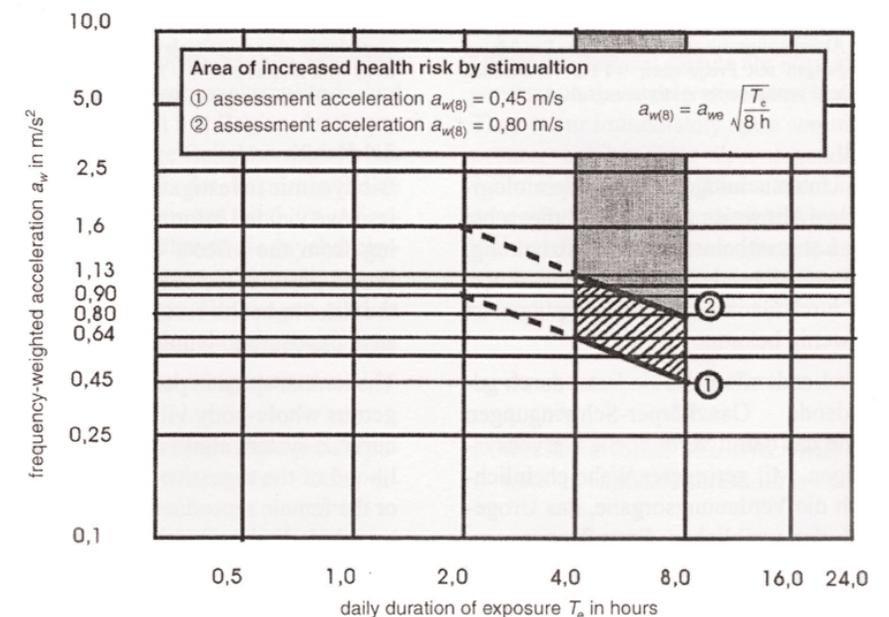


Abb. 7.1: Gesundheitsgefährdung in Abhängigkeit vom Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung und der täglichen Einwirkdauer (ISO 2631-1:1997; VDI 2057)

Zu bemerken ist, dass die horizontalen Beschleunigungen am Fahrersitz in Fahrtrichtung und quer zur Fahrtrichtung mit dem Faktor 1.4 sehr stark gewichtet werden. Dementsprechende Wertigkeit haben die horizontalen Beschleunigungen auch bei der Bewertung der zulässigen Arbeitszeit (Abb. 7.11). Aus den Messwerten ist zu erkennen, dass bei den Traktoren in Zukunft der begrenzende Faktor für die zulässige Arbeitszeit nicht mehr die vertikalen, sondern die horizontalen Beschleunigungen am Fahrersitz ist.

Die maximal zulässigen Einsatzzeiten der Praxisversuche sind in der Abb. 7.11 ersichtlich. Die Traktorfederungssysteme haben keinen schwingungsreduzierenden Einfluss auf die horizontalen Beschleunigungen quer zur Fahrtrichtung (y). Deshalb ist bei jenen Praxiseinsätzen mit starker Querbeschleunigung (z.B. Feldarbeit) kein Einfluss der Federungssysteme auf die zulässige Arbeitszeit feststellbar. Eine Steigerung der Einsatzzeiten durch die Federungssysteme ist nur bei jenen Praxiseinsätzen zu verzeichnen, bei denen starke vertikale und horizontale Beschleunigung (in Fahrtrichtung) auftreten (z.B. Transportfahrten auf der Asphaltstraße, Gerätetransport).

Praxiseinsatz		Einsatzzeiten bis zum Erreichen der unteren und der oberen Grenze der Gesundheitsgefährdung			
		(AUS / AUS)	(EIN / AUS)	(AUS / EIN)	(EIN / EIN)
		(Stunden)	(Stunden)	(Stunden)	(Stunden)
Traktor 110 kW (150 PS) Sitzhorizontalfederung in Fahrtrichtung					
Grubbern (mit	10 - 12 km/h	3,59 - 11,34	3,59 - 11,34	2,94 - 9,3	2,83 - 8,96
Pflügen (mit	7 km/h	...	...	2,46 - 7,77	2,46 - 7,77
Mähen (Front- u. Heckmäherwerk, nur	14 km/h	2,53 - 8	2,83 - 8,96	2,08 - 6,58	2,3 - 7,26
Saatbearbeitung (mit	17 km/h	2,73 - 8,64	3,06 - 9,66	2,22 - 7,02	2,37 - 7,5
Transportfahrt mit Tandemkipper (5t Eigengew.,	50 km/h, Asphalt	...	...	1,39 - 4,41	2,64 - 8,33
Transportfahrt mit Tandemkipper (5t Eigengew.,	50 km/h, Asphalt	...	...	0,67 - 2,12	1,51 - 4,77
Transportfahrt mit Tandemkipper (Leichtbau,	10 - 18 km/h, Feldweg	0,55 - 1,73	0,75 - 2,37	0,65 - 2,05	0,72 - 2,28
Transportfahrt mit Tandemkipper (Leichtbau,	10 - 18 km/h, Feldweg	0,71 - 2,24	0,94 - 2,96	0,5 - 1,59	0,58 - 1,84
Transportfahrt mit Ladewagen (Ladeprofi	20 km/h, 100 m Bahn (leer)	...	...	0,68 - 2,16	0,67 - 2,12
Transportfahrt mit Ladewagen (Ladeprofi	20 km/h, 100 m Bahn	...	...	0,54 - 1,7	0,74 - 2,32
Transportfahrt mit Ladewagen (Ladeprofi	40 km/h, Asphaltstraße	...	...	0,31 - 0,98	4,27 - 13,49
Transportfahrt mit Ladewagen (Ladeprofi	40 km/h, Asphaltstraße	...	...	0,39 - 1,23	0,92 - 2,89
Transportfahrt mit Güllefass (9 t	35 - 50 km/h, Asphaltstr.	...	...	0,76 - 2,42	1,9 - 6
Transportfahrt mit 2-Achs-LKW-	50 km/h, Asphaltstraße	...	...	6,38 - 20,16	13,22 - 41,8
Transportfahrt mit 2-Achs-LKW-	50 km/h, Asphaltstraße	...	...	12,23 - 38,64	7,59 - 23,99
Pflugtransport (5-Schar, mit Frontlader)	16km/h, 100 m Bahn (ohne	...	...	2,6 - 8,2	5,56 - 17,56
Pflugtransport (5-Schar, mit Frontlader)	16km/h, 100 m Bahn (mit	...	...	3,13 - 9,88	4,82 - 15,22
Mähertransport (Front - u.	20km/h, am Feld (mit	...	...	0,72 - 3,87	1,9 - 6
Mähertransport (Front - u.	25-30 km/h, (mit	0,78 - 2,47	2,15 - 6,8	0,78 - 2,46	1,69 - 5,33
Leerfahrt (ohne	10 - 40 km/h,	1,43 - 4,52	1,32 - 4,19	1,14 - 3,62	1,14 - 3,62
Leerfahrt mit Frontlader (1000 kg	10 - 20 km/h, 100m Bahn	0,9 - 2,85	1,17 - 3,7	1,04 - 3,3	1,04 - 3,3
Leerfahrt mit Frontlader (1000 kg	25 - 50 km/h,	0,45 - 1,41	2,94 - 9,3	0,47 - 1,5	2,02 - 6,38
Grubbertransport (mit	20 - 30 km/h,	...	...	0,94 - 2,98	4,82 - 15,22

Abb. 7.2: Arbeitszeiten bis zum Erreichen der unteren und der oberen Grenze der Gesundheitsgefährdung (ermittelt nach ISO 2631-1:1997; VDI 2057)

8 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die vertikalen Beschleunigungen in der Kabine werden auf der 100m-Bahn und mit der Kabinenfederung (AUS/EIN) um bis zu 20 % verringert. Im Praxiseinsatz war durch die Kabinenfederung (mit Ausnahme des Pfluges) keine Schwingungsreduktion in vertikaler Richtung am Fahrersitz festzustellen.

Der Grund liegt in der stochastischen (zufälligen) Schwingungsanregung und der Fixierung des Traktorgrundrahmens durch den Pflug (keine freie Schwingmöglichkeit). Bezogen auf den Versuchstraktor ist die Kabinenfederung (System „Wippe“ - mechanisch oder pneumatisch) als alleiniges Federungssystem am Traktor zur vertikalen Schwingungsverbesserung (Verminderung) nicht geeignet. Der Grund liegt in der Überlagerung der Eigenfrequenzen mit der Kabinenfederung und dem Traktorgrundrahmen. In Verbindung mit der Vorderachsfederung ist auch die Kabinenfederung wirksam. Die Kabinenfederung gemeinsam mit der Vorderachsfederung reduzieren die Eigenfrequenz des Traktorgrundrahmens (Federungszustand EIN/EIN). Die Eigenfrequenzen der Kabine und des Traktorgrundrahmens überlagern sich nicht oder nur mehr unter bestimmten Fahrzuständen und beträchtliche Schwingungsreduktionen sind die Folge. Die Vorderachsfederung hat somit den größten Einfluss auf die vertikale Schwingungsreduktion am Fahrersitz.

In der Praxis wurden durch die Vorderachsfederung vertikale Schwingungsreduktionen am Fahrersitz um bis ca. 80 % festgestellt. Die Vorderachsfederung in Verbindung mit der Kabinenfederung (EIN/EIN) zeigt im Praxiseinsatz (bei fast allen Fahrzuständen) die größte vertikale Beschleunigungsreduktion auf den Fahrer. Ein grundsätzliches Problem der heutigen Federungssysteme ist die gezielte Abstimmung der einzelnen Schwingungsparameter bei der Vielzahl unterschiedlicher Betriebszustände. Mit der gemeinsamen Verwendung von Vorderachsfederung und Kabinenfederung wurde bereits eine große Beschleunigungsreduktion am Fahrersitz in vertikaler Richtung erreicht. Zusätzlich zur Vorderachs- und Kabinenfederung ist aber noch immer ein guter Fahrersitz notwendig, um das Optimum an Schwingungsreduktion in vertikaler Richtung zu erreichen.

Die ursprüngliche Befürchtung der Sitzhersteller, dass mit der Einführung der Kabinenfederung ein guter Fahrersitz nicht mehr notwendig sein wird, ist somit unbegründet. Die Verkaufstatistik für Deutschland und Österreich zeigt einen eindeutigen Trend zum Traktor mit 50 km/h. Ohne Vorderachsfederung ist der Fahrer nicht nur einer hohen Schwingungsbelastung aus-

gesetzt, auch die Fahrsicherheit auf der Straße, ab 40 km/h, ist nicht mehr gegeben. Daher sollte der verpflichtende Einbau der Vorderachsfederung bei allen Traktoren über 40 km/h gesetzlich gefordert werden.

Die horizontalen Schwingungen in Fahrtrichtung werden bereits mit integrierten Sitzhorizontalfederungen sehr gut abgeschwächt. Die horizontalen Schwingungen quer zur Fahrtrichtung wurden bei den modernen Federungssystemen bisher nicht oder nur unzureichend berücksichtigt. Durch den Trend zum vermehrten Einsatz leistungsstarker Traktoren wird das Problem der Querbeschleunigungen am Fahrersitz aktuell. Große Traktoren haben alle sehr hohe Sitzpositionen für den Fahrer. Je weiter der Fahrer von der Hinterachse entfernt ist, desto höher werden die horizontalen Beschleunigungen quer zur Fahrtrichtung. Nachdem der menschliche Körper quer zur Fahrtrichtung nur eine eingeschränkte Bewegungsfreiheit hat, machen sich Horizontalbeschleunigungen quer zur Fahrtrichtung sehr schmerzhaft bemerkbar. Sogenannte „Sitzquerhorizontalfederungen“ werden vereinzelt als Wunschausstattungen von den Sitzfirmen angeboten, deren Wirksamkeit wurde aber noch zu wenig untersucht. Deshalb können darüber noch keine seriösen Aussagen gemacht werden. Im Sept. 2002 wurde ein EU-Projekt mit dem Namen „VIBSEAT“ gestartet, um das Problem der horizontalen Schwingungen am Fahrersitz versuchstechnisch und mit Hilfe von Simulationsprogrammen zu bearbeiten. In drei Jahren werden die Ergebnisse dieses EU-Projektes vorliegen. Bis dahin sollen auch wirksame „Sitzquerhorizontalfederungssysteme“ serienreif sein.

Aufgrund der verschiedensten Schwingungsparameter und deren komplexen Zusammenhänge werden in Zukunft Computersimulationsprogramme zur Optimierung der Federungssysteme einen wesentlichen Beitrag leisten. Erste Arbeiten auf diesem Gebiet wurden bereits von H. Böhler, der sich mit einem „Traktormodell zur Simulation der dynamischen Belastungen bei Transportfahrten“ (Mehrkörpersimulation) [62] und Bernd Thomas, der mit Hilfe der Simulation ein passives Kabinenfederungssystem für Traktoren konzipierte [60], durchgeführt.

Die Entwicklung zu immer höheren Fahrgeschwindigkeiten im Bereich der Agrarwirtschaft ist noch nicht abgeschlossen und dementsprechend sind noch einige Probleme ungelöst. So muss ein Forschungsschwerpunkt auf der Lösung des Zielkonfliktes zwischen Fahrsicherheit und Fahrkomfort liegen. Hier muss speziell untersucht werden, inwieweit andere Fahrwerkskonzepte zu besseren Lösungen führen. Es muss jedoch auch geklärt werden, ob und in welchem Maße sich Verbesserungen durch den Einsatz neuer und besserer Regelungen erzielen lassen. Wo die Grenzen der mechanischen Abstimmungen von Schwingungssystemen erreicht sind,

können nur mehr mit Hilfe elektronischer Regelungen Verbesserungen erzielt werden. Am Beispiel des aktiv geregelten Sitzes der Fa. John Deere ist dies bereits gelungen. In Zukunft ist es sinnvoll die Regelung in das Traktormanagementsystem zu integrieren, um das Federungsverhalten auf die Fahrzustände automatisch abstimmen zu können. Einige Traktorhersteller arbeiten bereits an intelligenten Federungssystemen, die sich in der Federungscharakteristik an den jeweiligen Betriebszustand anpassen.

Eine neue EU-Richtlinie wurde im Frühjahr 2002 beschlossen. Die Richtlinie legt in Zukunft die Grenzwerte mechanischer Vibrationen am Arbeitsplatz und damit auch für Bedienstete in der Land- und Forstwirtschaft fest. Sie regelt die maximal, tägliche zumutbare Schwingungsexposition für den Fahrer. Beim Vergleich der Ergebnisse des Praxiseinsatzes mit den Grenzwerten der EU-Richtlinie ist zu erkennen, dass bis zum Inkrafttreten der Richtlinie 2014 von Seiten der Traktorhersteller noch ein großer Handlungsbedarf besteht, um die strengen Grenzwerte der EU-Richtlinie erfüllen zu können. Mit dem üblichen Konzept des gefederten Standardtraktors wird es nur mit optimal aufeinander abgestimmten Federungssystemen möglich sein, diese Forderungen zu erfüllen. Neue Traktorkonzepte werden bis dahin diese Forderungen erfüllen.

Leider hat die Mehrzahl der Menschen in unserer Arbeitswelt eine sitzende Tätigkeit zu verrichten. Wird gegen eine schlechte Sitzhaltung und (oder) gegen eine hohe Schwingungsbelastung über Jahre hinweg nichts unternommen, kann die Gesundheit und die Lebensqualität auf Dauer stark beeinträchtigt werden. Wartet man bis zum Auftreten der ersten Beschwerden, ist es meist bereits zu spät. Auch der teuerste Traktorsitz kann dann Schäden durch Abnützungserscheinungen nicht mehr rückgängig machen. Ein Optimum an Sitzkomfort wird derzeit nur durch eine Vorderachsfederung, Kabinenfederung, einen guten Fahrersitz, verbunden mit einer effektiven horizontalen Schwingungsdämpfung in und quer zur Fahrtrichtung erreicht. Ein Kabinenniveaueausgleich kann noch zusätzlich zu einer wesentlichen Entlastung des Fahrers beitragen. Die Traktorhersteller sollten ein Federungssystem entwickeln, das die Federungscharakteristik den jeweiligen Betriebsbedingungen des Traktors automatisch anpasst.

Ob im Büro, im Auto, vor dem Fernseher oder am Traktor, entscheidend für Ihre spätere Lebensqualität ist der optimale Sitzkomfort.